

令和 3 年 5 月 18 日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03418

研究課題名(和文)紙ゴミ類の可溶化による都市ゴミ有機成分と下水汚泥の一括バイオガス化システムの開発

研究課題名(英文)Development of gasification system of municipal solid waste and sewage sludge using solubilization of paper waste technology

研究代表者

姫野 修司(Himeno, Shuji)

長岡技術科学大学・工学研究科・准教授

研究者番号：60334695

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：一般可燃ごみ中の厨芥類のエネルギー利用技術が求められている。本研究では、廃棄物の機械的・生物的处理(Mechanical-Biological Treatment: MBT)として機械選別とメタン発酵システムについて実ごみによる機械選別試験とメタン発酵試験を実施した。粒度選別、破碎選別を行うことで、一般可燃ごみから高精度に厨芥類を発酵適物として回収可能であった。回収した発酵適物は中温メタン発酵処理を行うことで発酵適物1トンあたり150 Nm<sup>3</sup>程度のバイオガスが安定的に回収可能であることを明らかとした。また、厨芥類回収後の燃焼適物の低位発熱量は回収前と比較して1.7倍向上することを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本技術を適用することで既存の収集体制のまま、都市ごみから厨芥類を機械選別し、選別された厨芥類を使用してメタン発酵を行い廃棄物のエネルギー化を行うことが可能であるとがしめされた。その際、機械選別により都市ごみから熱量が高く微生物分解しにくいビニール類(プラスチックなど)と含水率が高く微生物分解しやすい厨芥類を選別し回収することが可能になる。また、発酵不適物や発酵適物がそれぞれ焼却処分やメタン発酵に適したごみ質で回収可能となり、厨芥類が取り除かれることにより焼却処分するごみの量自体を削減することが可能であると考えられる。その際に選別された高発熱量ごみ固形化燃料(RDF)などの燃料に貢献可能となる。

研究成果の概要(英文)：Due to the need to reduce fossil fuel consumption in the incineration and the necessity to utilize kitchen waste as biomass, there is a growing need for technology to separate kitchen waste from combustible waste and to utilize it as energy source. In this research, a technology combining mechanical sorting and methane fermentation as a Mechanical-Biological Treatment (MBT) system was developed and sorting and fermentation tests were conducted using municipal waste. The results showed that it is possible to separate kitchen waste as fermentable material with high accuracy from combustible waste by means of shredding and screening, and that 150 Nm<sup>3</sup> of biogas per ton of fermentable material can be stably produced by mesophilic methane fermentation of the recovered fermentable material. In addition, the lower calorific value of combustible material after separating kitchen waste improved by 1.7 times compared to that before separation.

研究分野：環境工学

キーワード：メタン発酵 MBT 再生可能エネルギー

## 1. 研究開始当初の背景

バイオマス活用推進基本法に基づき、バイオマス活用推進基本計画が平成28年9月に変更され、廃棄系バイオマスである食品廃棄物は現在の利用率24%から2025年の目標値として利用率40%と記載されている。食品廃棄物の活用目標達成に向けた方法として、都市ごみの分別収集または機械選別によるバイオガス化・燃料化などに期待が集まっている。一方、主に分別を行っていない都市ごみは中間処理として焼却処分が行われているが、都市ごみは厨芥類などを含有し含水率が高い状態であり、燃焼効率の低いことが問題となっている。

本研究では、廃棄系バイオマスの中で再利用率が低い食品廃棄物に注目し、都市ごみ中の厨芥類を選別し、バイオガス化させるため、MBT(Mechanical-Biological Treatment)による機械選別技術の開発を行った。MBTとは、廃棄物に対して、機械的処理(Mechanical Treatment)と生物的処理(Biological Treatment)を組み合わせる廃棄物のエネルギー化・減容化を行う技術である。機械的・生物的処理(MBT)技術は、混合状態の都市ごみを対象とした中間処理方式として、主に欧州において技術開発と実用化が進められてきた。その結果、都市ごみの中間処理として多くのMBT施設が稼働している。日本において、MBT施設は焼却施設とバイオガス化施設との併設にて廃棄物処理を行うケースが報告されている。また市民による手分別で回収された選別生ごみを利用して、バイオガス化を行うケースも報告されている。しかし、新たに分別収集を必要とする場合は、分別収集のコストが高くなり実施が困難な場合がある。

## 2. 研究の目的

MBTを導入することで既存の収集体制のまま、都市ごみから厨芥類を機械選別し、選別された厨芥類を使用してメタン発酵を行い廃棄物のエネルギー化を行うことが可能であると考えられる。その際、機械選別により都市ごみから熱量が高く微生物分解しにくいビニール類(プラスチックなど)と含水率が高く微生物分解しやすい厨芥類を選別し回収することができれば、それぞれ焼却処分やメタン発酵に適したごみ質で回収可能となり、厨芥類が取り除かれることにより焼却処分するごみの量自体を削減することが可能であると考えられる。また、選別された高発熱量ごみのRDFなどの燃料化にも貢献可能と考えられた。そこで、本研究では選別されていない状態の都市ごみからの効率的なエネルギー利活用を目的として、実際に収集された選別されていない都市ごみに対して機械選別を実施した。まず、破砕選別機単体での選別能力を明らかにしたうえで、破砕選別機単体での試験の問題点から、破砕選別機の前段に粒度選別機を設置した。高発熱量分の大型ごみ(衣類・布類・ビニール類・皮革類など)を事前に選別可能となり、メタン発酵に適したごみ質としての回収方法を検討した。さらに、選別された発酵適物(厨芥類や紙類)の長期メタン発酵試験を行い、バイオガス化率や発酵特性を評価し、エネルギーとしての利用可能性を検討した。

## 3. 研究の方法

### 3.1 機械選別試験概要と目的

機械選別試験は実際にごみ収集車で集められた都市ごみを使用し、清掃センター内にて実施した。都市ごみの収集品目には、台所ごみ(厨芥類)、紙屑、衣類繊維類、皮革製品、ゴム製品、木製品、プラスチック製品(容器包装・ペットボトル以外)が含まれている。図1、2に、試験の流れを示す。本試験ではスクリーンを通過した処理物を発酵適物として使用し、メタン発酵試験を実施した。試験は計3回実施し、それぞれ選別試験、  
、  
とする。以下にそれぞれの選別試験条件と試験目的を述べる。

#### 3.1.1 選別試験 : 破砕選別機単体試験(スクリーン径 15 mm)

選別試験では、破砕選別機単体での破砕選別試験を行った。清掃センター内プラットホームに搬入された都市ごみを破砕選別機に直接投入し、発酵適物と燃焼適物に分別した。スクリーン径は15 mm、破砕選別機の内部の負荷の上昇に応じて加水を行った。破砕選別機単体での都市ごみの機械選別による選別割合や各組成、物質収支(湿潤状態)を明らかにする事を目的として実施した。

#### 3.1.2 選別試験 : 粒度選別機+破砕選別機組合せ試験(スクリーン径 15 mm)

選別試験では、破砕選別機の前段に破袋機と粒度選別機を設置し、粒度選別機の追加による発酵適物、燃焼適物の選別状態、ごみ組成の変化を明らかにする事を目的とした。破袋機で破袋後に粒度選別機で都市ごみを3種に選別を行い、目幅通過物と中間物を混合して破砕選別機に投入した。粒度選別機の傾斜角度は30度、ディスクの回転数は178 rpmとし、ディスク同士は50 mm×57 mmの目幅とした。破砕選別機は選別試験と同様にスクリーン径15 mmとした。粒度選別機で先に分別する理由として、破砕選別機への機器負荷(布の絡まりなど)を抑制することが目的である。一度選別した処理物を混合することに関しては、ごみ袋が2重、3重となっている場合など中間物から粒度選別機の目幅で回収できない厨芥類を回収する事が可能になり、厨芥類や紙類回収量を向上させるために行った。大型物を取り除いた場合には破砕選別機の稼働に大きく影響を与えず容易に厨芥類を回収できると考えられたため、中間物と目幅通過物を混合した。

### 3.1.3 選別試験 : 粒度選別機+破碎選別機組合せ試験(スクリーン径 25 mm)

選別試験では、破碎選別機のスクリーン径の違いによる発酵適物、燃焼適物の選別状態、ごみ組成の変化を明らかにする事を目的とした。機器構成および投入条件は選別試験と同様とし、破碎選別機のスクリーン径のみ 15 mm から 25 mm へ変更した。

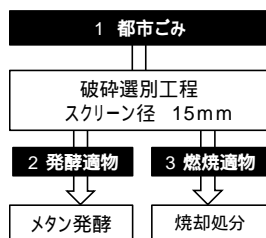


図1 選別試験 の処理フロー

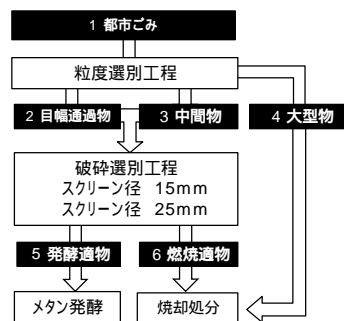


図2 選別試験 の処理フロー

## 4. 研究成果

### 4.1 機械選別試験の考察

都市ごみの機械選別試験 , , を行った選別結果を図3, 4, 5に示した。燃焼適物はビニール類(プラスチックなど)や紙類が多く含有され、選別試験では100%燃焼適物にビニールが選別されており、選別試験では97.2%となっている。選別試験と選別試験を比較すると、前段に粒度選別を加えることで、発酵適物の中の異物量(不燃物類など)を低下させることが可能であることが分かった。さらに、選別試験では都市ごみを直接破碎選別機に投入しているため、布類の滞留が起こり、過負荷状態となり排出するのに時間を要し(機器の正転・逆転運転を行い排出)、破碎効率が低下した。

一方、選別試験では破碎選別機の前段の粒度選別機で布類を除去できたため、破碎選別機が過負荷状態になるのを抑制することができ、安定的に選別が可能となった。なお、市町村にて既に布類(衣類)などを別に分別収集を行っている場合においては、粒度選別機を設けず破碎選別機のみで行うことが可能と考えられた。

選別試験と選別試験を比較すると、図9に示す選別試験の厨芥類の選別比率は78.3%，図11に示す選別試験の厨芥類の回収率は98.1%となり、選別試験の選別比率の方が高くなった。これは試験のスクリーン径が25mmと大きいため、重量物(厨芥類や紙類など)が発酵適物側へ排出されているためである。

選別試験ではスクリーン径が25mmと選別試験のスクリーンより大きいため、選別試験で作成された発酵適物にはビニール類が含まれ、湿潤状態で0.6%と重量割合は小さいが、目視でも多くのビニール類(プラスチックなど)が確認され、不適物類も多くなっていた。これらは後段のメタン発酵工程で残渣として排出されることとなるため、発酵適物のメタン発酵に対する影響は少ないと考えられるが、発酵残渣を有効利用する場合には、利用方法によって不適物量を留意する必要があると考えられる。残渣のメタン発酵設備やメタン発酵残渣の有効利用の観点からはスクリーン径は15mm程度が望ましいといえる。

高岡らは、都市ごみの機械選別を行い、発酵適物と燃焼適物に選別を行った結果が記載されており、発酵適物中にビニール類が20%程度含まれている

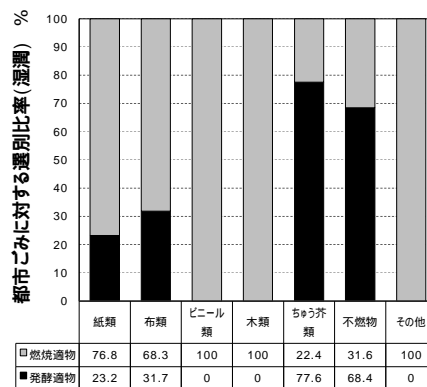


図3 選別試験 の選別比率

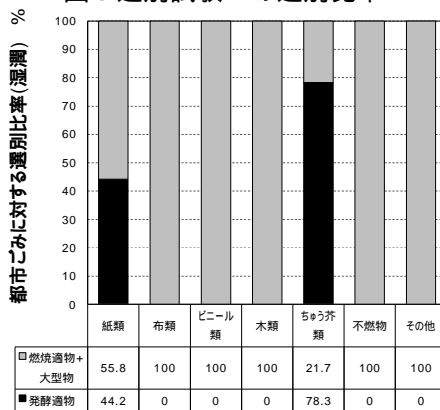


図4 選別試験 の選別比率

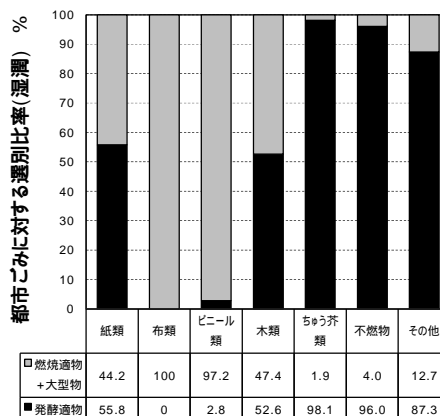


図5 選別試験 の選別比率

と報告しており、それらに比べてビニール類の混入割合は低い事が確認できた。

以上より、都市ごみから機械選別を用いることで、厨芥類と燃焼処理に適しているビニール類を選別可能であることが確認できた。また布類などを事前に取り除く粒度選別工程を設けることで、発酵適物中の異物(ビニール類、不燃物類)の多くを排除可能であることを明らかにした。次に、破碎選別工程での加水の影響について検討した。選別試験では加水量は破碎選別機に投入したごみ重量に対して34.0%加水された。選別試験では粒度選別機によって布類などの大型物が取り除かれ、破碎選別機への負荷が低くなっていることから加水率は破碎選別機に投入したごみの量に対してそれぞれ29.5%、14.2%と選別試験より低下した。選別試験では、スクリーン径が25mmと大きいため破碎選別機内部の滞留時間が短く、加水量が低下したと考えられた。破碎選別時に加水することにより、破碎選別前の都市ごみ中の水分と比較して、発酵適物は含水量が増加するものの、燃焼適物の含水量は選別試験では45.1%から34.8%、選別試験では、53.7%から51.6%、選別試験では、48.6%から16.6%と低下することが分かった。本研究で用いた破碎選別機で回収される燃焼適物は紙類やビニール類であるが、ティッシュペーパーなどの水分を含みやすい材質の紙類は湿潤状態の発酵適物として回収され、外部が塗料等でコーティングされている紙類は燃焼適物として回収される。また、ビニール類は吸水性が低いいため加水されると表面に水分が付着するが、多くの水分は付着しないため燃焼適物は選別前に比べて含水率が低くなったと考えられた。

なお、布類は事前に粒度選別機によって大型物として取り除かれ焼却されることになるため、焼却されるごみ質の熱量値はさらに向上すると考えられる。また、選別試験に関して、都市ごみの低位発熱量8.5MJ/kgに対して、燃焼適物の低位発熱量は15.0MJ/kgとなり、低位発熱量は約1.7倍となることが明らかとなった。これは、燃焼適物に水分を多く含む厨芥類が回収されないためであり、選別比率で厨芥類は1.9%しか回収されないためである。一方、ビニール類などの発熱量が高いごみが組成の大半を占め(ビニール類の燃焼適物中の組成は44.8%)、選別比率では、ビニール類は97.2%燃焼適物に回収されているためであると考えている。

#### 4.2 まとめ

都市ごみの発酵処理・焼却処理を行うため機械選別技術の開発を行い、実際の都市ごみを用いて機械選別とメタン発酵実験を行った結果、以下の結論が得られた。

1. 機械選別のみで、都市ごみを発酵適物と燃焼適物に分類することは可能であるが、都市ごみ中の布類は破碎選別機に絡まるため、粒度選別によって事前に除去する必要がある。

2. 破碎選別機のみで機械選別を行うことで、69.3%の発酵適物を都市ごみから選別可能となった。一方、破碎機械選別の前に粒度選別機を用いて機械選別を行うことで、53.4%の発酵適物を都市ごみから選別可能であった。その際、厨芥類の回収量は3.8kgから4.7kgに向上し、選別比率も78.3%となり、破碎選別機の前段に粒度選別機を用いることで厨芥類が選択的に回収可能であることが確認できた。

3. 破碎選別機のスクリーン径を15mmから25mmへ変更することで、厨芥類の回収率は向上するが、発酵適物にビニール片が混入した。消化残渣の利用を考慮すると破碎選別機のスクリーン径は15mm程度が望ましいと思われた。

4. 粒度選別と破碎選別を経て得られる燃焼適物は、選別前の都市ごみと比較して、低位発熱量が1.7倍向上した。

本研究によって、分別されていない都市ごみから、本機械選別装置を用いることで、都市ごみから高精度に発酵適物と燃焼適物を選別することが可能となり、発酵適物の投入TS濃度10%においても安定的にバイオガスを発酵適物1tあたり150~152Nm<sup>3</sup>程度回収することができることを明らかにした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 小松俊哉, 姫野修司, 伊藤圭汰, 高橋倫広	4. 巻 56
2. 論文標題 都市ごみの機械的処理による発酵適物と下水汚泥の混合嫌気性消化, 2019年10月01日,	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 下水道協会誌論文集	6. 最初と最後の頁 118-125
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 姫野 修司, 小松 俊哉, 笹渕 晃洋, 伊藤 圭汰, 北田 誠, 高橋 倫広	4. 巻 29
2. 論文標題 MBTシステムによる都市ごみからのメタン発酵適物の回収およびバイオガス化技術に関する研究	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 廃棄物資源循環学会論文誌	6. 最初と最後の頁 227-239
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3985/jjsmcwm.29.227	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 伊藤圭汰, 小松俊哉, 姫野修司, 高橋倫広
2. 発表標題 下水汚泥と都市ごみ有機成分の混合消化連続実験
3. 学会等名 第52回日本水環境学会年会講演集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤圭汰, 岡野勝也, 小松俊哉, 姫野修司, 高橋倫広, 北田誠
2. 発表標題 MBTを適用した下水汚泥と可燃ごみの混合嫌気性消化(第2報)
3. 学会等名 第55回下水道研究発表会講演集
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計2件

産業財産権の名称 メタン発酵好適物の製造装置	発明者 姫野修司、高橋倫広 、北田誠	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2019-000822	取得年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 メタン発酵好適物の移送方法	発明者 姫野修司、高橋倫広 、北田誠	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、6524145	取得年 2019年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

-

#### 6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	小松 俊哉  (KOMATSU Toshiya)  (10234874)	長岡技術科学大学・工学研究科・准教授    (13102)	

#### 7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

#### 8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------